

### 三軸試験機での排水せん断の有無がまさ土の流出・強度特性へ与える影響

山口大学 学生会員 ○若松 知季  
 山口大学 正会員 鈴木 素之  
 山口大学 学生会員 石丸 太一

**1. はじめに** 近年の豪雨により、老朽化した盛土構造物が被災するケースがみられる(図1)。盛土構造物の劣化要因の一つに内部侵食による細粒分流出がある。内部侵食とは、浸透流の影響で土を構成する粗粒分と細粒分のうち細粒分が流れ出てしまう現象である。これまでも数多くの内部侵食に関する研究がなされてきたが、三軸試験におけるせん断の有無が内部侵食による細粒分流出に与える影響は十分に明らかではない。そこで、本研究では、供試体から細粒分のみを流出させ、回収できるように改造した三軸圧縮試験機を用いて、浸透を行った後、排水せん断試験を行うことで、細粒分流出が強度へもたらす影響を空隙比と強度の関係に着目して検討した。また、排水せん断後に浸透を行い、せん断履歴による細粒分の流出特性の違いについて考察を行った。これに関しては、Chang らがピーク状態に至らない程度の異方応力状態下の細粒分流出挙動について研究を行っているが、本研究ではまさ土供試体に対して破壊に至るまで排水せん断を行った後、水を浸透させて細粒分流出を再現し、せん断履歴による流出土粒子の変化を調べた。本文では細粒分流出直前の空隙比と排出土砂量の関係、せん断直前の空隙比とせん断強度の関係について考察する。



図-1 排水管周辺に発生したパイピング孔の状況(山口県内のため池)

**2. 使用した土試料および試験方法** 本研究では細粒分含有率が5.2%の宇部まさ土を土試料として用いた。本研究では、Ke and Takahashi<sup>2)</sup>の実験装置を参考にして、試験機のペダスタルに漏斗状のくぼみを設け、そこへ6mm径の孔を21個開けたアクリル板、250 $\mu$ mまたは425 $\mu$ mの網目状のメッシュの順に設置し、その上に供試体を設置し、供試体上部から下部へかけて下向き浸透流を与え、細粒分流出を再現した。供試体(内径5cm、高さ10cm)は二割りモールドを用いて突固めを行い作製した。その後、背圧100kPaを作用させ、有効拘束圧 $\sigma'_c=30$ kPaで圧密を行った。次に、集水ポッドの容量(785ml)が一杯になるまで浸透を行った後、ひずみ速度0.2%/minで軸ひずみ $\epsilon_a$ が15%に至るまで排水せん断を行った。また、排水せん断後に浸透させる場合は圧密後 $\epsilon_a=15%$ まで排水せん断した後、浸透を行った。

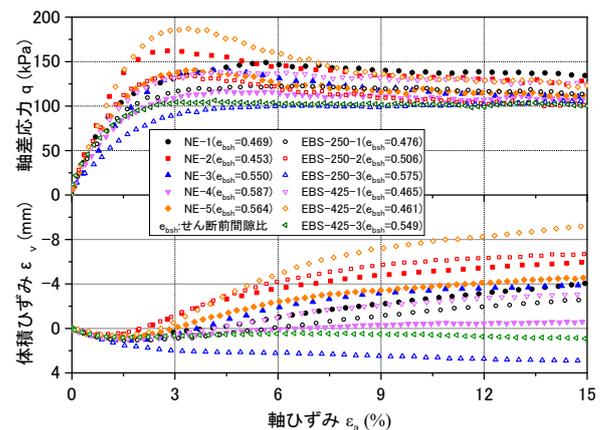


図-2 NE, EBS ケースの  $\epsilon_a \sim q \sim \epsilon_v$  の関係

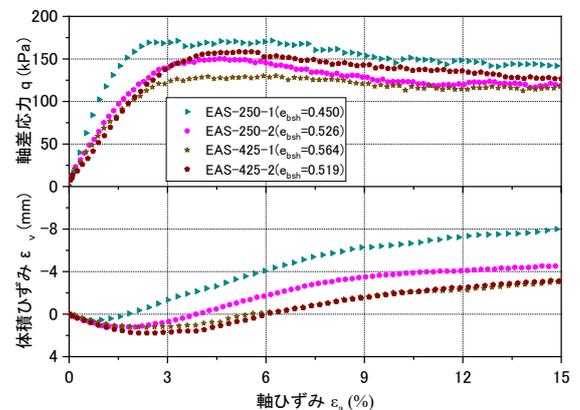


図-3 EAS ケースの  $\epsilon_a \sim q \sim \epsilon_v$  の関係

キーワード 内部侵食, 浸透流, 盛土構造物

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之 Tel: 0836-85-9303

**3. 試験結果と考察** 本研究では、水の浸透すなわち内部侵食を再現させないケース (NE: No Erosion), 排水せん断前に浸透を行うケース (EBS: Erosion Before Shearing), 排水せん断後に浸透を行うケース (EAS: Erosion After Shearing) の3シリーズの実験を行うことで、排出された土粒子による強度変化への影響とせん断履歴が細粒分流出に与える影響について調べた。

**3.1 間隙比とピーク強度, 残留強度の関係**

NE, EBS および EAS シリーズの  $\varepsilon_a$  と軸差応力  $q$ , 体積ひずみ  $\varepsilon_v$  の関係をそれぞれ図2および図3に示す。図2, 図3に示したすべてのケースにおいてピーク強度が大きくなるにつれて体積膨張が顕著であった。しかし, EBS-250-2 のケースに限っては他のEBS のケースと比較すると得られたピーク強度に対してより大きな体積膨張がみられた。本研究では, 圧密・浸透過程における供試体の体積変化, 土粒子の流亡に伴う供試体の乾燥密度の変化などの様々な要因によって供試体間隙比が変化するため, すべてのケースでせん断直前の間隙比を正確に揃えることが困難であった。したがって, 図2, 図3に示した応力・ひずみ関係のみではせん断挙動を浸透の有無の観点から直接比較することができない。そこで, 間隙比とピーク強度が線形関係をもつことに着目し, 浸透の有無の影響による強度の違いを検討した。図4, 図5にそれぞれせん断前 (NE, EAS のケースは浸透後) の間隙比  $e_{bsh}$  とピーク強度  $q_{max}$  および残留強度  $q_{res}$  の関係を示す。ここで,  $q_{res}$  は  $\varepsilon_a=15\%$  時の  $q$  の値とした。図中に示す実線は NE, EAS のケース計9点において実験によって得られた  $q_{max}$  および  $q_{res}$  と  $e_{bsh}$  の関係から作成した直線である。NE, EAS は排水せん断までは同じプロセスであるが, 実験ケースによってペDESTALに設置したフィルター材が違うため, 得られるピーク強度に差が生じることが考えられるが, 今回はその点は考慮せず結果整理を行い, 近似線を作成した。この基準線から,  $e_{bsh}$  が小さくなるにつれて  $q_{max}$ ,  $q_{res}$  の値は大きくなる傾向を確認した。これ以降, この近似線を“強度基準線”と表現する。図4においてはEBSのケースでは, EBS-425-2の1ケースを除くほとんどのケースで強度基準線を下回った。図5においてはすべてのケースで強度基準線を下回った。

**3.2 排出土粒子と濁度の関係**

図6に浸透前間隙比  $e_{bs}$  と侵食率  $R_e$  の関係を示す。ここで  $R_e$  (=排出土粒子質量/供試体初期乾燥質量×100%) は佐藤ら<sup>3)</sup>が定義したものである。250  $\mu\text{m}$ メッシュを用いたケースに関しては傾向の違いは見られなかったが, 425  $\mu\text{m}$ メッシュを用いたケースではEASのケースでEBSのケースに比べて  $R_e$  が低下する傾向がみられた。せん断履

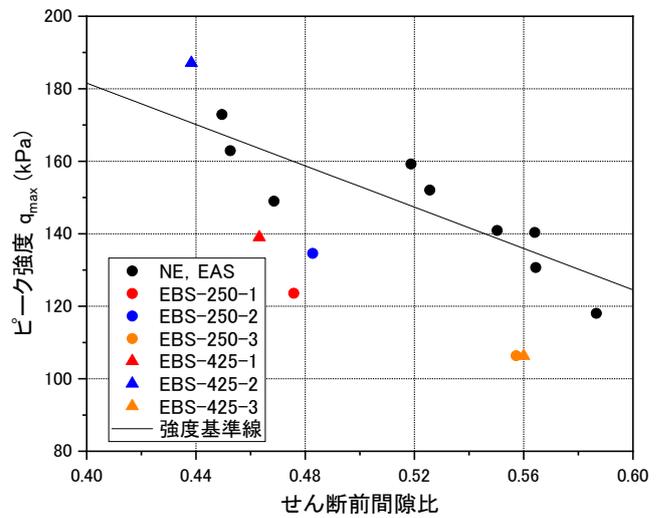


図-4  $e_{bsh} \sim q_{max}$  の関係

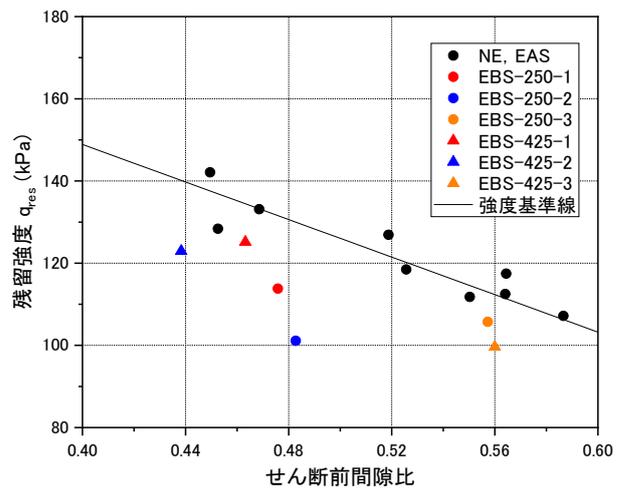


図-5  $e_{bsh} \sim q_{res}$  の関係

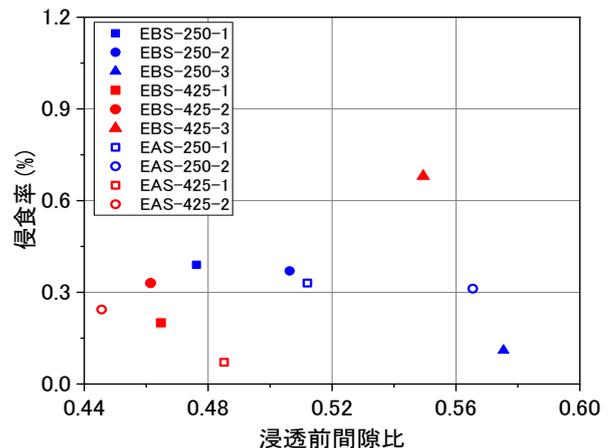


図-6 浸透前間隙比と侵食率の関係

歴が 250-425  $\mu\text{m}$ の土粒子の移動や排出に影響を与えている可能性がある。図7に浸透プロセスで排出された排水の濁度と濃度の関係を示す。図中に示す直線はそれぞれ75  $\mu\text{m}$ , 106  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 425  $\mu\text{m}$ のふるい通過試料を用いて浮遊砂濃度の異なる懸濁液を作製し、濁度測定を行い、その結果を用いて作成した基準線である。そこへ実験で得られた濁度と濃度の結果をプロットした。プロットされた位置が基準線より上の場合、その基準線の粒径以下の土粒子が多く排出されたことが推測される。本実験での結果は、全ケースにおいてメッシュ径に対応する基準線を上回った。このことから、排出土粒子の多くは粒径の小さなものであったと考えられる。これは、供試体内の間隙を粒径が小さい土粒子ほど移動しやすく、供試体外へ排出され、粒径が大きい土粒子は供試体内に留まって排出されなかったことを示唆している。

図7中に示されるように、ある懸濁液の濃度と濁度の関係がプロットされるとき、同濃度の基準線上の濁度と懸濁液の濁度の比を“同一濃度濁度比 X”とする。この同一濃度濁度比が大きいほど基準線の試料よりも粒径の小さなものの割合が高いことを意味する。この同一濃度濁度比と侵食率の関係を図8に示す。このとき、同一濃度濁度比の基準は250  $\mu\text{m}$ メッシュを用いたケースでは250  $\mu\text{m}$ 基準線、425  $\mu\text{m}$ メッシュを用いたケースでは425  $\mu\text{m}$ 基準線である。R<sub>e</sub>が他ケースより大きくなったEBS-425-3を除いて、R<sub>e</sub>が大きいほど、同一濃度濁度比が小さくなる傾向がみられた。

**4. 結論** 本研究で得られた結論を以下に要約する。

- 1) 浸透により細粒分流出を再現させることで、ピーク強度は1ケースを除くほとんどのケースで低下し、残留強度はすべてのケースで低下した。
- 2) 土粒子排出状況に関しては、250  $\mu\text{m}$ メッシュを用いたケースでは侵食率に差は見られなかったが、425  $\mu\text{m}$ メッシュを用いたケースでは排水せん断の有無によって侵食率に差がみられた。本研究結果から、排水せん断の有無が250-425  $\mu\text{m}$ の比較的大きな土粒子の流出に影響を与えている可能性があることがわかった。
- 3) 本研究で再現した細粒分流出現象はすべてのケースで侵食率が1%未満の小規模侵食であった。しかし、ピーク強度の変化をみると最大で約40kPa差が生じたケースもあり、供試体外へ排出されずに供試体内の移動であっても強度変化に影響を与えていたと考えられる。

**参考文献**

- 1) Chang, D. S. and Zhang, L. M. Critical Hydraulic Gradients of Internal Erosion under Complex Stress States, J. Geotech. Geoenviron. Eng., 139 (9), pp1454-1467, 2013.
- 2) Ke, L. and Takahashi, A.: Experimental investigations on suffusion characteristics and its mechanical consequences on saturated cohesionless soil, Soils and Foundations, 54 (4), pp.713-730, 2014.
- 3) 佐藤真理, 桑野玲子: 内部侵食が地盤の変形・強度特性に及ぼす影響の定量的評価, 生産研究, 66 巻, 4号, pp.3-7, 2014.

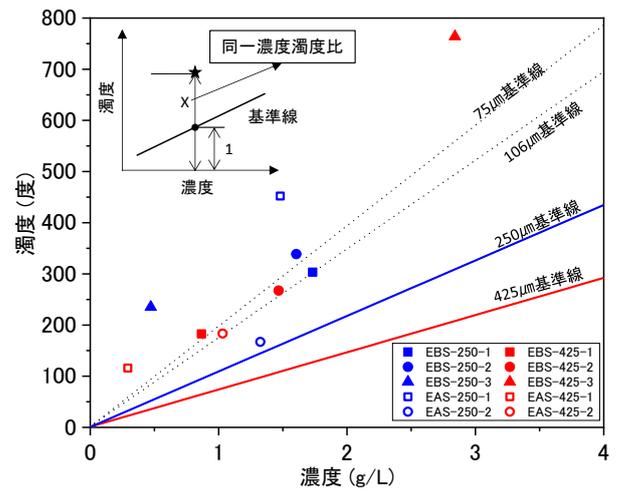


図-7 排水の濃度と濁度の関係

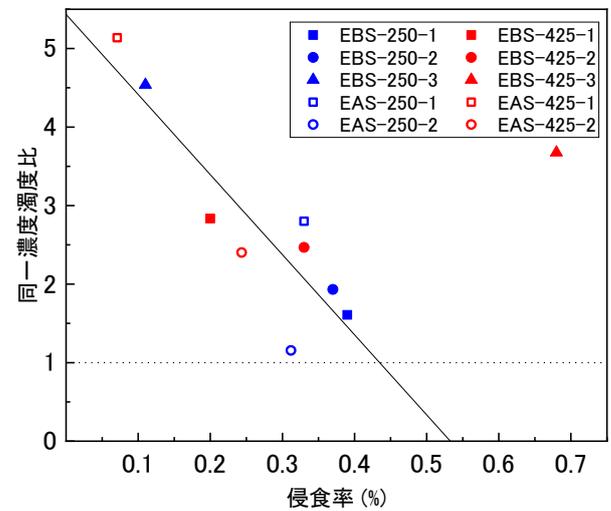


図-8 侵食率と同一濃度濁度比の関係